

Proiect nr. 32/2012

**Mașini electrice de eficiență sporită,
prin utilizarea unor soluții tehnice avansate,
bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice
ale tolelor**

**(Electrical Machines with Increased Efficiency, by Using
Advanced Technical Solutions Based on the
Predetermination of the Magnetic Properties of Sheets)**

Acronim: MEF-MAG

Raport de sinteză

**Etapa II: Utilizarea rezultatelor obținute pentru realizarea
unor baze de date și proceduri de calcul specifice pentru
fiecare tip de porțiune a circuitului magnetic.**

**Aspecte de eficiență economică
pentru fiecare tip de prelucrare utilizată**

Termen: 15 decembrie 2013

**Director de proiect : Prof. dr.ing. Horia GAVRILĂ,
Universitatea Politehnica din București**

Proiect nr. 32/2012 : Mașini electrice de eficiență sporită, prin utilizarea unor soluții tehnice avansate, bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice ale tolelor (MEF-MAG)
 Etapa II: Utilizarea rezultatelor obținute pentru realizarea unor baze de date și proceduri de calcul specifice pentru fiecare tip de porțiune a circuitului magnetic.
 Aspecte de eficiență economică pentru fiecare tip de prelucrare utilizată

Activitatea II.1

Elaborare model pentru caracterizarea comportării magnetice a probei ca urmare a prelucrării pentru tipul de tolă M 400

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

CO: Universitatea Politehnica din București
 P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA
 P3: Universitatea “Transilvania” din Brașov

Raportul detaliat întocmit conține xxx pagini și este structurat în următoarele capitole:

II.1.a. Comparații tole tip M400-65A, M700-65A, M800-65A

Rezultatele prezentate în raportul științific al Etapei I a dovedit că, din rațiuni în egală măsură de natură funcțională și economică, tehnologia de tăiere a tolelor mașinilor electrice dezvoltate în proiect să fie ștanțarea mecanică sau electroeroziunea. În scopul alegerii tipului de tablă electrotehnică din care să fie realizate circuitele magnetice ale noilor motoare electrice, s-a dorit și testarea tolelor de tip M700-65A ce prezintă caracteristici magnetice intermediare între tipurile de tablă testate în Etapa I (M400-65A și M800-65A).

În acest scop a fost caracterizată o tolă FeSi NO M700-65A tăiată paralel cu direcția de laminare (RD) (Tabel 1).

Tip Tolă	Direcție tăiere	Densitate [g/cm ³]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa [g]	Lungime [mm]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
M700-65A	RD	7,75	$30 \cdot 10^{-8}$	34,22	300	30	0,65

Testarea s-a făcut la polarizațiile magnetice $J \in \{500, 1000, 1500\}$ mT și la frecvențele $f \in \{3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200\}$ Hz. S-a realizat și separarea pierderilor de energie utilizând procedeul prezentat în cadrul Activității I.3.

Principalele rezultate obținute sunt prezentate în figurile 1.1 – 1.5.

Se observă că tola tip M400-65A prezintă cele mai reduse pierderi de energie totale, pe întreg intervalul de frecvențe măsurate. Această proprietate tinde să se reducă o dată cu creșterea polarizației magnetice. Conform teoriei separării pierderilor de energie descrisă în Etapa I, variația pierderilor prin histerezis se consideră independentă de frecvență. Din analiza acestui tip de pierderi (fig. 1.2) se constată că tola M400-65A prezintă cele mai reduse valori, lucru confirmat și de variația coercitivității (fig. 1.4) și a permeabilității magnetice (fig. 1.5) cu polarizația magnetică.

La frecvența de 50 Hz tabla de tip M400-65A prezintă cele mai reduse pierderi de energie pe întreg intervalul de polarizații magnetice și cele mai reduse valori ale câmpului coercitiv, respectiv o permeabilitate magnetică relativă ridicată (cel puțin până la 1 T).

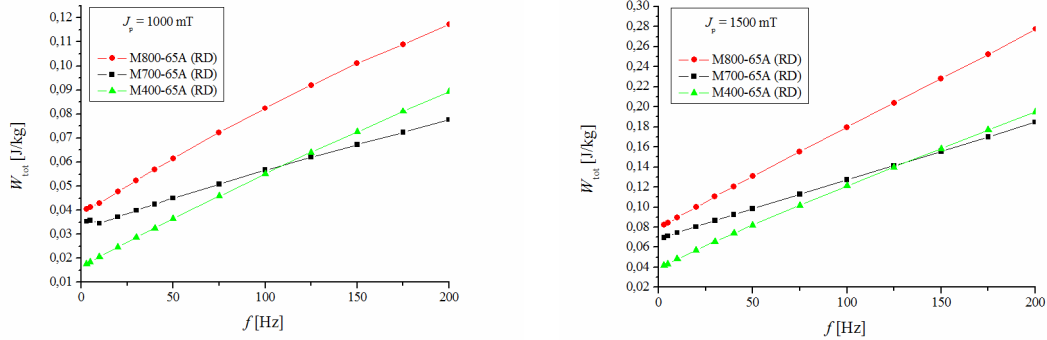


Fig. 1.1. Variația pierderilor totale de energie în cazul celor trei tipuri de tole electrotehnice pentru o polarizație magnetică de: a – 1000 mT; b - 1500 mT.

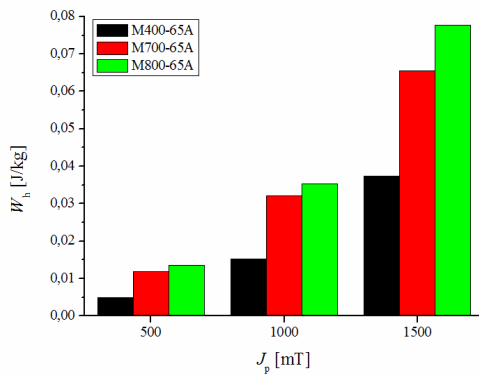


Fig. 1.2. Pierderile de energie prin histerzis pentru cele trei tipuri de tolă în cazul $J_p = (500, 1000, 1500)$ mT.

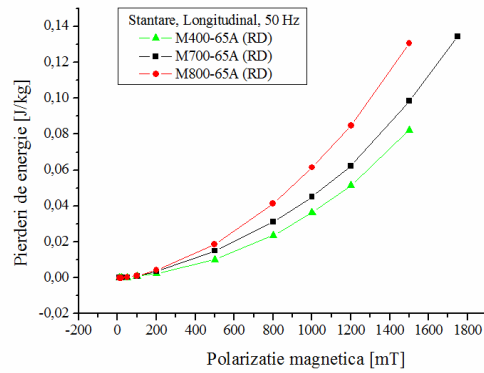


Fig. 1.3. Variația pierderilor totale de energie în funcție de polarizația magnetică aplicată pentru frecvența de 50 Hz.

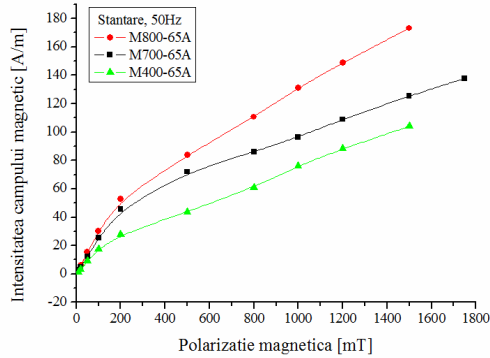


Fig. 1.4. Valorile câmpului coercitiv în funcție de polarizația magnetică aplicată la frecvența de 50 Hz

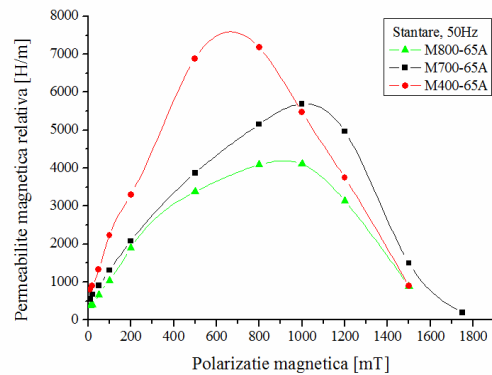


Fig. 1.5. Valorile permeabilității magnetice relative în funcție de polarizația magnetică aplicată la frecvența de 50 Hz.

II.1.b. Comparații tole tip M400-65A debitate prin ștanțare în benzi de diferite lățimi

Pentru analiza influenței procedurii de ștanțare asupra pierderilor de energie s-a optat pentru creșterea lungimii perimetrului ștanțat prin aplicarea de tăieri succesive, pe lungimea eșantionului, la diferite lățimi. În acest scop, tola de $300 \times 30 \text{ mm}^2$ a fost debitată astfel:

- Două eșantioane de dimensiuni $300 \times 15 \text{ mm}^2$;
- Trei eșantioane de dimensiuni $300 \times 10 \text{ mm}^2$;
- Patru eșantioane de dimensiuni $300 \times 7,5 \text{ mm}^2$;
- Șase eșantioane de dimensiuni $300 \times 5 \text{ mm}^2$.

Eșantioanele din tola M400-65A au fost tăiate paralel cu direcția de laminare (RD) (Tabel 1) măsurătorile fiind realizate cu un tester uni-tolă prin alăturarea eșantioanelor de aceeași lățime pentru refacerea probei standard de lățime 30 mm.

Tabel 1. Dimensiuni și proprietăți eșantioane testate.

Tip Tolă	Direcție tăiere	Număr bucăți	Densitate [g/cm ³]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa totală [g]	Lungime [mm]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
M400-65A	RD	1	7,25	$47,7 \cdot 10^{-8}$	45,46	300	30	0,65
		2					15	
		3					10	
		4					7,5	
		5					5	
		6						

Analiza în frecvență a pierderilor de energie pe un eșantion $300 \times 30 \times 0,65 \text{ mm}^3$

Eșantionul testat a fost reconstituit din elementele componente, astfel încât proba caracterizată cu testerul uni-tolă a avut dimensiunile $300 \times 30 \times 0,65 \text{ mm}^3$. Testarea la care a fost supusă tola a constat în variația polarizației magnetice $J \in \{250, 500, 1000, 1500\} \text{ mT}$, la frecvențele $f \in \{3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200\} \text{ Hz}$. S-a realizat de asemenea separarea pierderilor de energie, utilizând procedeul prezentat în cadrul Activității I.3. Se prezintă rezultatele obținute în cazul $J \in \{1000, 1500\} \text{ mT}$.

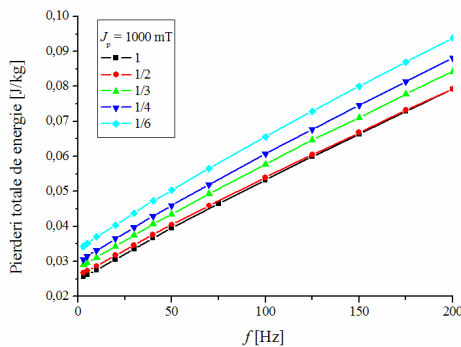


Fig. 1.6. Variația pierderilor totale de energie în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de 1000 mT

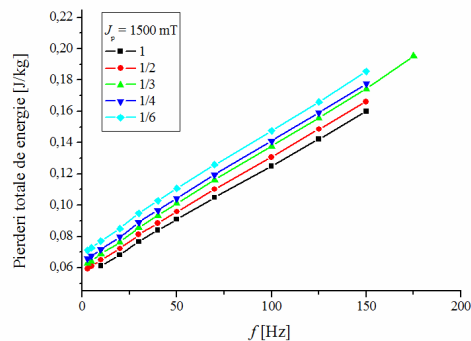


Fig. 1.7. Variația pierderilor totale de energie în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de 1500 mT.

În cazul polarizațiilor magnetice reduse ($J_p = 250 \text{ mT}$ și $J_p = 500 \text{ mT}$), prezentate în raportul extins, curbele de variație a pierderilor de energie sunt puternic influențate de procedeul tehnologic de ștanțare mecanică, pierderile totale crescând o dată cu mărirea lungimii perimetrului ștanțat. Această metodă de debitare a tolelor modifică proprietățile

magnetice – permeabilitatea magnetică – ale tolelor în zona de tăiere. La polarizații magnetice mari ($J_p = 1000$ mT și $J_p = 1500$ mT), odată cu apropierea de saturație, diferențele dintre pierderile totale de energie măsurate în cazul celor 5 variante de ștanțare se reduc, deoarece la saturație permeabilitatea magnetică relativă a tolei tinde spre 1. În concluzie în domeniul polarizațiilor magnetice mari ștanțarea nu mai influențează semnificativ pierderile de energie.

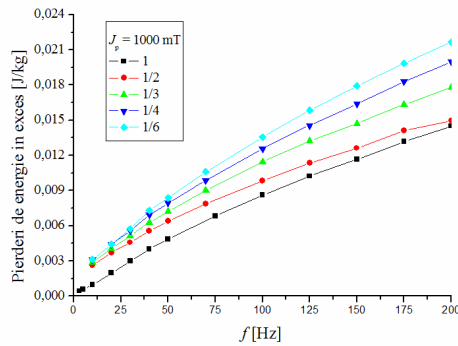


Fig. 1.8. Variația pierderilor de energie în exces în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de 1000 mT.

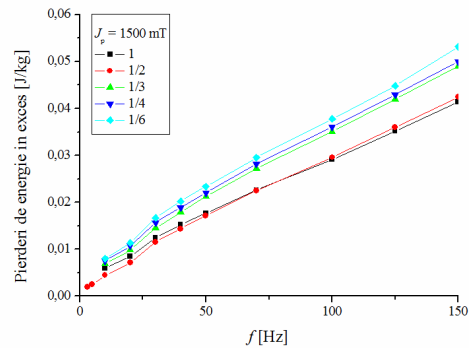


Fig. 1.9. Variația pierderilor de energie în exces în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de 1500 mT.

Pierderile de energie în exces la polarizații magnetice înalte nu sunt influențate de procedeul de ștanțare, deoarece curbele de variație ale pierderilor tind să se apropie mult.

Analiza la frecvența de 50 Hz

Testarea la care au fost supuse tolele ștanțate a constatat în variația polarizației magnetice $J \in \{50, 100, 200, 250, 500, 800, 1000, 1200, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1750\}$ mT, măsurată la frecvența $f = 50$ Hz.

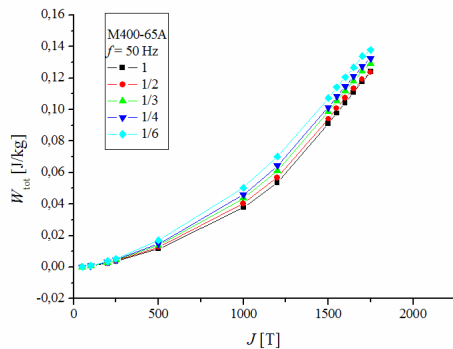


Fig. 1.10. Variația pierderilor totale de energie în funcție de polarizația magnetică aplicată pentru frecvența de 50 Hz.

Se constată că pierderile de energie totale cresc la frecvența de 50 Hz o dată cu creșterea perimetrului ștanțat. Testarea s-a mai făcut și la frecvența $f = 60$ Hz, la cererea partenerului industrial.

Analiza în frecvență a pierderilor de energie pe eșantioane de lățimi diferite

Au fost testate patru eșantioane cu lățime variabilă ($l_t = 5; 7,5; 15; 30$ mm). Testarea la care au fost supuse eșantioanele a constatat în variația polarizației magnetice $J \in \{1380, 1500, 1800\}$ mT, măsurată în cazul frecvenței $f \in \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600\}$ Hz. S-a realizat separarea pierderilor de energie, utilizând procedeul prezentat în cadrul Activității I.3. Prezentăm datele obținute la polarizația magnetică $J_p = 1500$ mT.

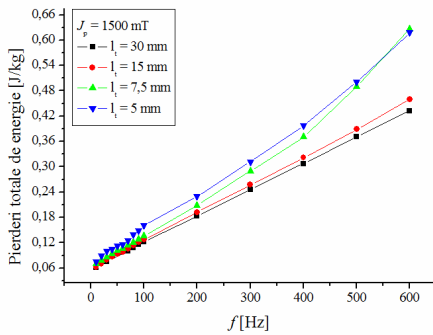


Fig. 1.11. Variația pierderilor de energie totale în cazul eşantioanelor de lărimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1500$ mT.

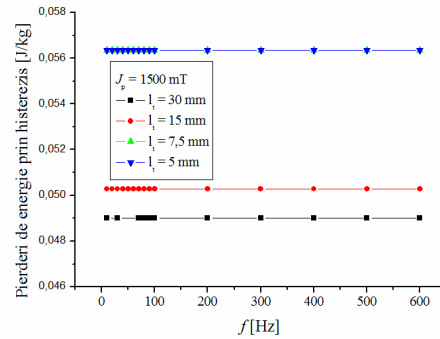


Fig. 1.12. Variația pierderilor de energie prin histerezis în cazul eşantioanelor de lărimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1500$ mT.

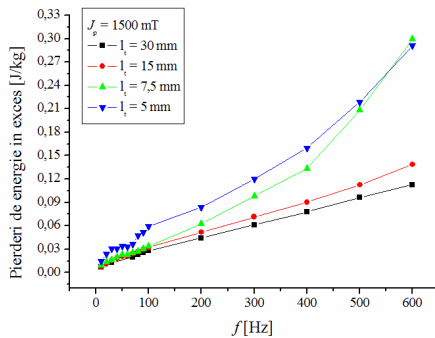


Fig. 1.13. Variația pierderilor de energie în exces în cazul eşantioanelor de lărimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1500$ mT.

II.1.c. Comparații tole tip M400-65A debitate prin electroeroziune la diferite lărimi

Analiza influenței procedurii tehnologic de tăiere asupra pierderilor de energie, aplicat în secțiunea II.1,b a fost utilizată și pentru procedul de debitare a tolelor prin electroeroziune. Eșantioanele din tolă M400-65A au fost tăiate paralel cu direcția de laminare (RD) (Tabel 1) măsurătorile fiind realizate cu un tester uni-tolă prin alăturarea eşantioanelor de aceeași lătime pentru refacerea probei standard de lătime 30 mm.

Tabel 2. Dimensiuni și proprietăți eşantioane testate.

Tip Tolă	Direcție tăiere	Număr bucăți	Densitate [g/cm ³]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa [g]	Lungime [mm]	Lătime [mm]	Grosime [mm]
M400-65A	RD	1	7,25	$47,7 \cdot 10^{-8}$	41,56	300	30	0,65
		2			40,55		15	
		3			40,07		10	
		4			40,92		7,5	
		5			40,85		5	
		6						

Analiza în frecvență a pierderilor de energie

Testarea a constat în variația polarizației magnetice $J \in \{250, 500, 1000, 1500\}$ mT, la frecvențele $f \in \{3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200\}$ Hz. S-a realizat de asemenea separarea pierderilor de energie, utilizând procedul prezentat în cadrul Activității I.3. Se prezintă rezultatele obținute în cazul $J \in \{1000, 1500\}$ mT.

Din variația pierderilor de energie totale cu frecvența (Fig. 1.14 și 1.15) se constată că acestea au valori apropiate, indiferent de dimensiunea perimetrului debitat prin electro-

eroziune. În acest caz se produc modificări în structura cristalină a materialului în imediata apropiere a locului în care s-a produs electroeroziunea. Procedul nu este atât de invaziv în comparație cu ștanțarea mecanică, de aceea pierderile prin histerezis sunt mai reduse.

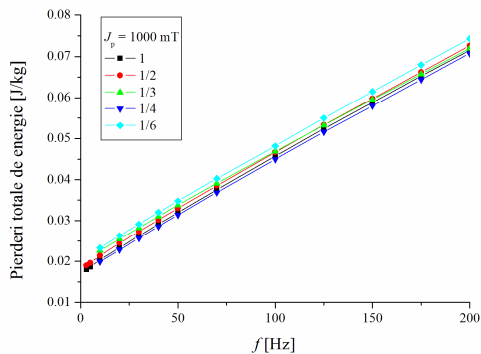


Fig. 1.14. Variația pierderilor totale de energie în cazul tolelor debitate prin electroeroziune, la lățimi diferite pentru o polarizație de 1000 mT.

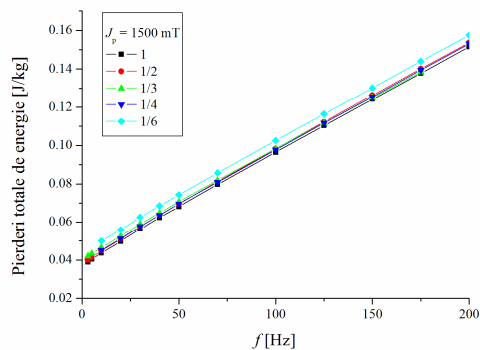


Fig. 1.15. Variația pierderilor totale de energie în cazul tolelor debitate prin electroeroziune la lățimi diferite pentru o polarizație de 1500 mT.

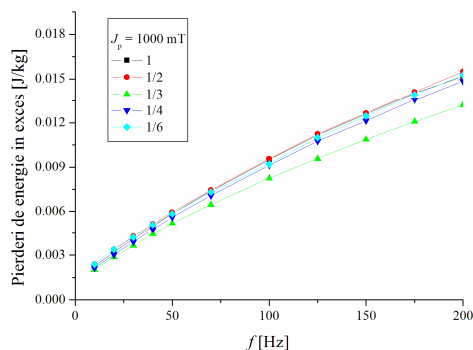


Fig. 1.16. Variația pierderilor de energie în exces în cazul tolelor debitate prin electroeroziune la lățimi diferite pentru o polarizație de 1000 mT.

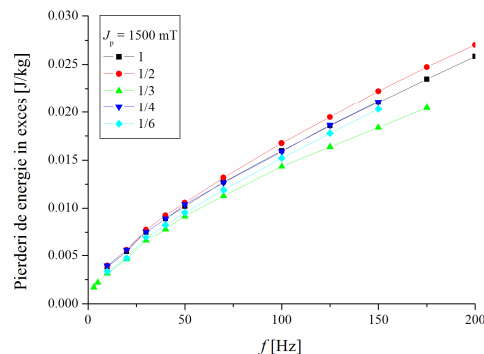


Fig. 1.17. Variația pierderilor de energie în exces în cazul tolelor debitate prin electroeroziune la lățimi diferite pentru o polarizație de 1500 mT.

Se observă că pierderile în exces sunt slab influențate de procedul de debitare prin electroeroziune (Fig. 1.16 și Fig. 1.17).

Analiza la frecvența de 50 Hz

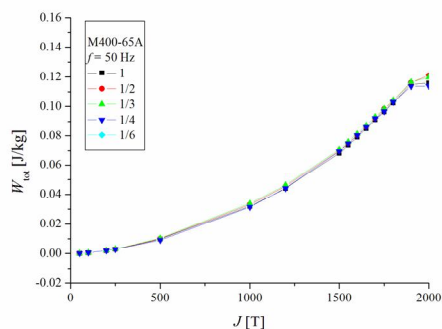


Fig. 1.18. Variația pierderilor totale de energie în funcție de polarizația magnetică aplicată la frecvența de 50 Hz.

Testarea la care au fost supuse tolele debitate prin electroeroziune a constatat în variația polarizației magnetice $J \in \{50, 100, 200, 250, 500, 800, 1000, 1200, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1750\}$ mT, la frecvența $f = 50$ Hz.

Analiza în frecvență a pierderilor de energie pe eșantioane de lățimi diferite

Au fost testate patru eșantioane cu lățimi variabilă ($l_1 = 5; 7,5; 15; 30$ mm). Testarea la care au fost supuse eșantioanele a constat în variația polarizației magnetice $J \in \{1600, 1800\}$ mT, la frecvența $f \in \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600\}$ Hz. S-a realizat de asemenea separarea pierderilor de energie, utilizând procedeul prezentat în cadrul Activității I.3. Se prezintă datele obținute în cazul polarizației magnetice $J_p = 1800$ mT.

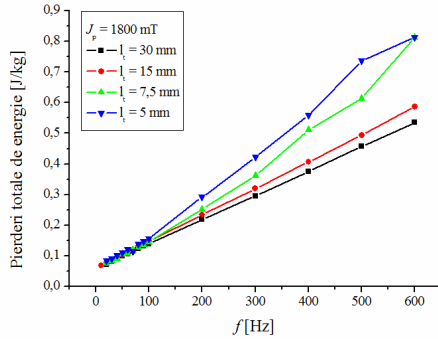


Fig. 1.19. Variația pierderilor de energie totale determinate în cazul eșantioanelor de lățimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1800$ mT.

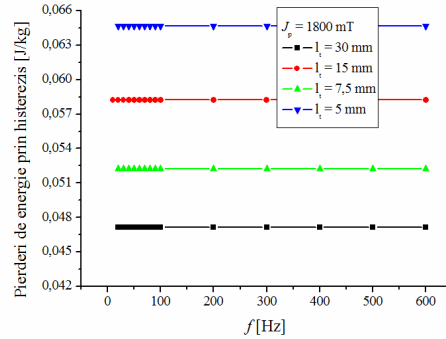


Fig. 1.20. Variația pierderilor de energie prin histeresis determinate în cazul eșantioanelor de lățimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1800$ mT.

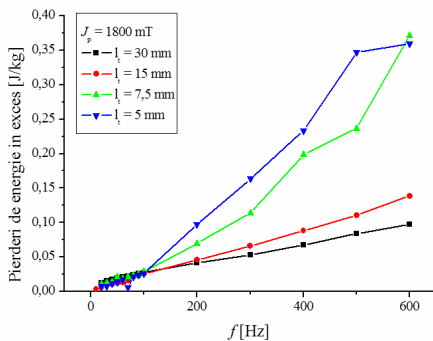


Fig. 1.21. Variația pierderilor de energie în exces determinate în cazul eșantioanelor de lățimi diferite pentru o polarizație magnetică $J_p = 1800$ mT.

II.1.d. Comparații între datele măsurate pe tolele ștanțate și cele debitate prin electroeroziune

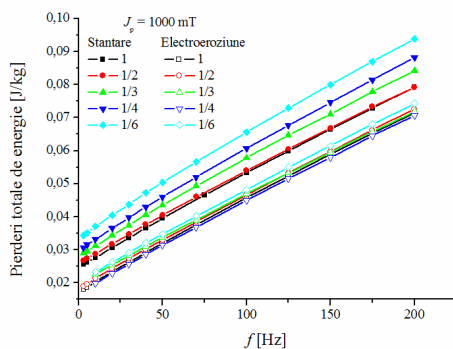


Fig. 1.22. Variația pierderilor totale de energie pentru o polarizație magnetică $J_p = 1000$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

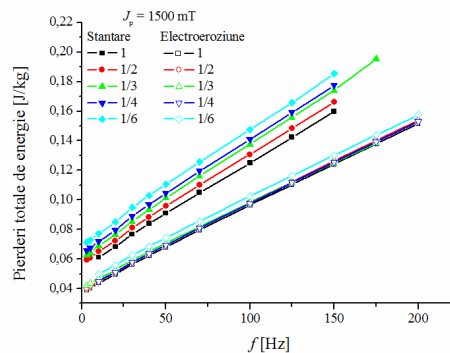


Fig. 1.23. Variația pierderilor totale de energie pentru o polarizație magnetică $J_p = 1500$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

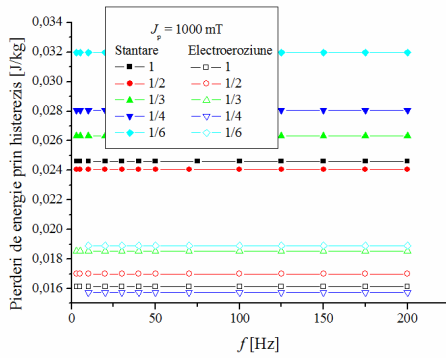


Fig. 1.24. Variația pierderilor de energie prin histerezis pentru o polarizare magnetică $J_p = 1000$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

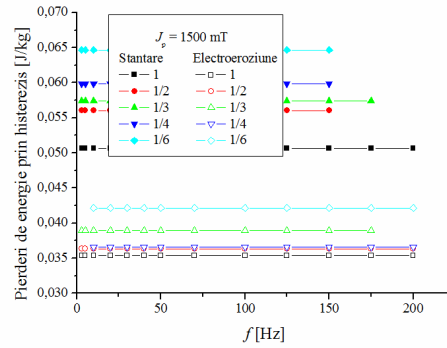


Fig. 1.25. Variația pierderilor de energie prin histerezis pentru o polarizare magnetică $J_p = 1500$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

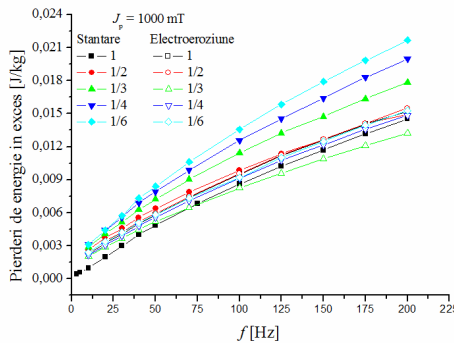


Fig. 1.26. Variația pierderilor de energie în exces pentru o polarizare magnetică $J_p = 1000$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

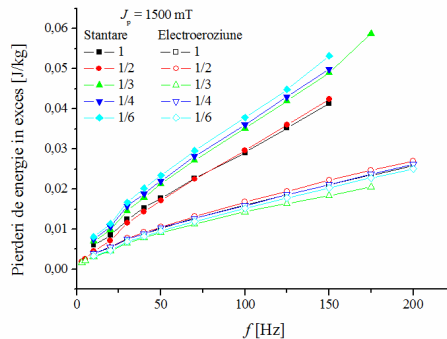


Fig. 1.27. Variația pierderilor de energie în exces pentru o polarizare magnetică $J_p = 1500$ mT în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

Rezultatele scot în evidență faptul că prelucrarea prin electroeroziune afectează mult mai puțin pierderile totale de energie decât prelucrarea prin ștanțare mecanică, ca urmare a unor modificări de mai mică anvergură ale structurii cristalografice și de domenii magnetice ale tolelor debitate, confirmând astfel concluzii formulate în prima fază a proiectului.

Concluzia este confirmată și de analiza întreprinsă privind ponderea celor trei categorii de pierderi (clasice, prin histerezis și, respectiv, în exces) pentru ambele tipuri de prelucrări, la diferite excitații și frecvențe, prezentată în tabele următoare.

În aceste condiții, **decizia privind tehnologia de debitare ce va fi folosită revine în întregime producătorului și este în totalitate de ordin economic.** Oricum, rezultatele prezentate privitoare la următoarele două activități ale fazei dovedesc că, printr-o proiectare adecvată, care ia corect în considerare datele rezultate din caracterizarea magnetică completă a tolelor folosite, și prin aplicarea îngrijită a condițiilor de lucru proprii procedurii ștanțării mecanice, se pot realiza chiar folosind această tehnologie motoare electrice asincrone trifazate care se încadrează în clasa IE3.

Polarizare magnetică $J_p = 1000$ mT; frecvența 50 Hz

Procedeu debitare		Wtot [J/kg]	Wh [J/kg]	Wcl [J/kg]	Wexc [J/kg]	Wh [%]	Wcl [%]	Wexc [%]
Ștanțare	T1	0,03952	0,02461	0,01004	0,00487	62,27	25,40	12,32
	T2	0,0405	0,02406	0,01004	0,0064	59,41	24,79	15,80

	T3	0,04358	0,02631	0,01004	0,00723	60,37	23,04	16,59
	T4	0,04604	0,02807	0,01004	0,00793	60,97	21,81	17,22
	T6	0,0504	0,03197	0,01004	0,00839	63,43	19,92	16,65
Electroeroziune	T1	0,032	0,01612	0,01004	0,00584	50,38	31,38	18,25
	T2	0,03298	0,017	0,01004	0,00594	51,55	30,44	18,01
	T3	0,0338	0,01856	0,01004	0,0052	54,91	29,70	15,38
	T4	0,03138	0,01574	0,01004	0,0056	50,16	31,99	17,85
	T6	0,03478	0,0189	0,01004	0,00584	54,34	28,87	16,79

Polarizație magnetică $J_p = 1500$ mT; Frecvența 50 Hz

Procedeu debitare		Wtot [J/kg]	Wh [J/kg]	Wcl [J/kg]	Wexc [J/kg]	Wh [%]	Wcl [%]	Wexc [%]
Ștanțare	T1	0,09096	0,05069	0,02259	0,01768	55,73	24,84	19,44
	T2	0,09582	0,05604	0,02259	0,01719	58,48	23,58	17,94
	T3	0,10132	0,05742	0,02259	0,02131	56,67	22,30	21,03
	T4	0,10446	0,05982	0,02259	0,02205	57,27	21,63	21,11
	T6	0,11062	0,06464	0,02259	0,02339	58,43	20,42	21,14
Electroeroziune	T1	0,06812	0,03536	0,02259	0,01017	51,91	33,16	14,93
	T2	0,06948	0,03634	0,02259	0,01055	52,30	32,51	15,18
	T3	0,07068	0,03894	0,02259	0,00915	55,09	31,96	12,95
	T4	0,0696	0,03664	0,02259	0,01037	52,64	32,46	14,90
	T6	0,07426	0,04214	0,02259	0,00953	56,75	30,42	12,83

Activitatea II.2

Integrarea rezultatelor obținute pentru tola de tip M400 pentru proiectarea componentelor circuitului magnetic al mașinilor electrice

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

CO: Universitatea Politehnica din București

P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA

P3: Universitatea "Transilvania" din Brașov

In tabelul 1 sunt prezentate valorile pierderilor specifice pentru tola de tip M400 obtinute in urma determinarilor experimentale efectuate, dupa cum urmeaza:

- Au fost realizate un numar de 5 esantioane avand latimile respectiv: 30, 15, 10, 7.5 si 5 mm. Sunt specificate numarul de sectiuni efectuate pentru a obtine valorile enumerate ale latimilor.
- Au fost determinate pierderile specifice pentru 14 valori ale inductiei cuprinse intre 50 si 2000 mT.

Datele cuprinse in Tabelul 1 au fost integrate in programul de proiectare al motoarelor asincrone realizat de P3.

Tabelul 1

	sectiuni	1	2	3	4	6
	mm	30	15	10	7.5	5
Nr. crt.	J [T]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]
1	50	0.009	0.010	0.011	0.012	0.014
2	100	0.036	0.041	0.045	0.049	0.056
3	200	0.129	0.142	0.157	0.167	0.190
4	250	0.187	0.206	0.228	0.241	0.275
5	500	0.581	0.633	0.699	0.743	0.847
6	1000	1.888	2.021	2.184	2.301	2.520
7	1200	2.675	2.844	3.062	3.218	3.507
8	1500	4.574	4.791	5.060	5.221	5.532
9	1550	4.887	5.043	5.280	5.411	5.708
10	1600	5.215	5.361	5.599	5.737	6.029
11	1650	5.540	5.660	5.907	6.059	6.335
12	1700	5.878	5.956	6.216	6.368	6.697
13	1750	6.199	6.182	6.457	6.630	6.894
14	2000	6.356	6.530	6.789	7.020	7.291

In figura 2.1 este prezentat meniul principal al programului. Programul permite:

- Utilizarea unei baza de date cuprinzind informatii privind motoarele aflate in fabricatie la partenerul P2. Baza de date este prezentata in figura 2.2.
- Proiectarea unui motor asincron (trifazat/monofazat) in diferite variante privind geometria transversala si longitudinala a motorului:
 - Geometrie transversala si longitudinala impusa;
 - Geometrie transversala impusa numai pentru stator;
 - Nu se impune impune geometria transversala.

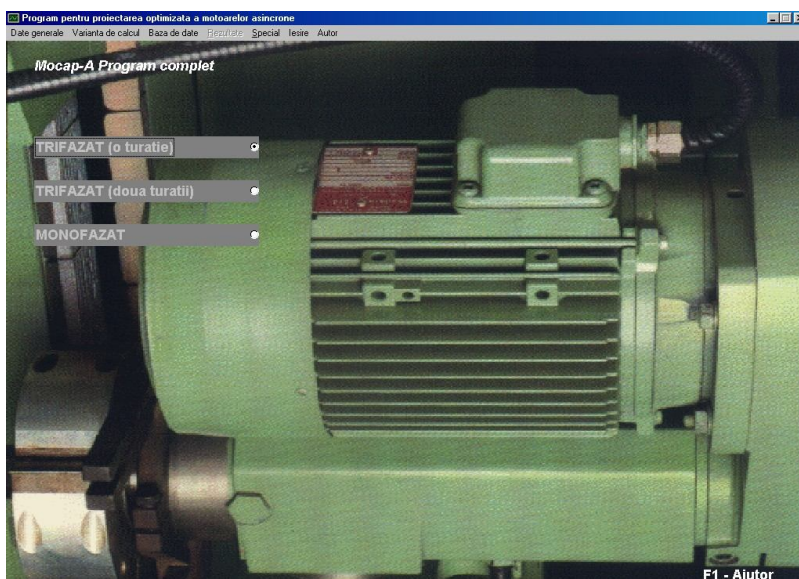


Figura 2.1. Meniul principal al programului de proiectare al motoarelor asincrone

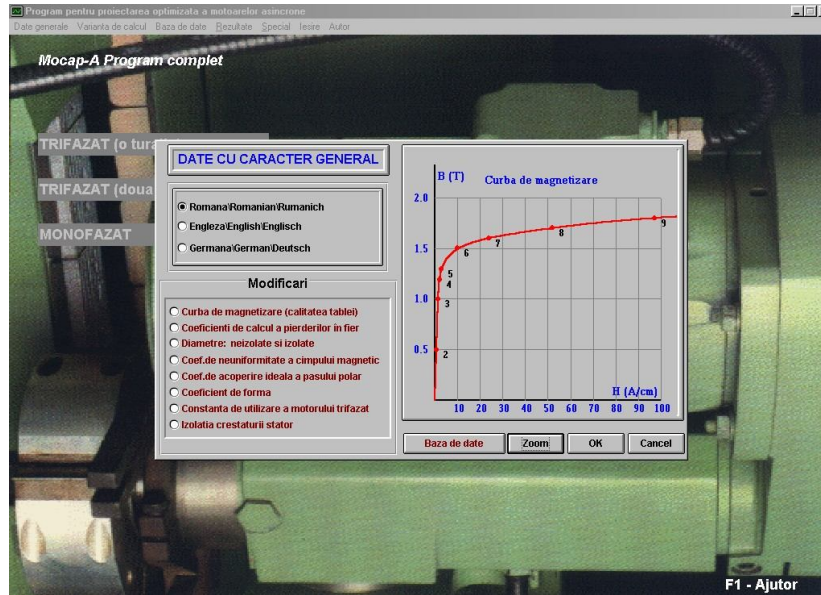


Figura 2.2. Baza de date a programului

In baza de date a programului au fost introduse datele referitoare la curba de magnetizare a tablei M400, figura 2.2.

Au fost introduse si valorile pierderilor specifice din Tabelul 1:

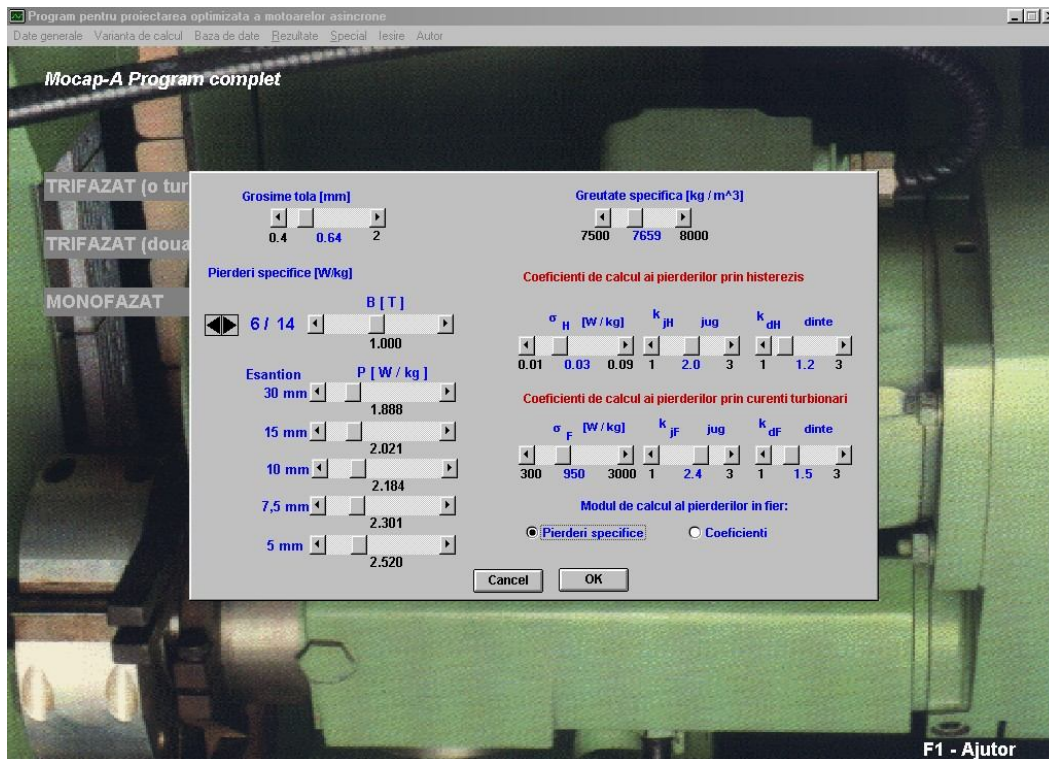


Figura 2.3. Pierderile specifice (valorile cuprinse in Tabelul 1)

Calculul de proiectare a fost efectuat pentru un motor asincron trifazat (11 kW, 1000 rot/min).

Calculul pierderilor in fier a fost calculat prin interpolare utilizand datele cuprinse in Tabelul 1 respectiv figura 2.3. A fost utilizata o interpolare Lagrange cu polinoame de gradul 2, corespunzatoare relatiei:

$$P(x) = \sum_{i=1}^3 y_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

in care:

- $P(x)$ este functia necunoscuta, in cazul de fata pierderile in jug (respectiv dinti);
- x variabila in functie de care se obtine valoarea functiei necunoscute, in cazul de fata inductia magnetica in jug (respectiv dinti);
- (x_i, y_i) trei perechi succesive de determinari (inductie magnetica, pierderi specifice), alese din tabelul 1, astfel incat variabila in functie de care se obtine valoarea functiei necunoscute sa fie continuta in intervalul determinat de doua valori succesive ale valorilor x_i .

Alegerea uneia din cele 5 curbe determinate de valorile continute in Tabelul 1 se realizeaza prin interpolare liniara utilizand valorile latimilor esantioanelor specificate in Tabelul 1 in relatie cu latimea jugului (respectiv a dintelui).

Rezultatele obtinute in urma calculului sunt prezentate in figurile 2.4, 2.5 si 2.6.

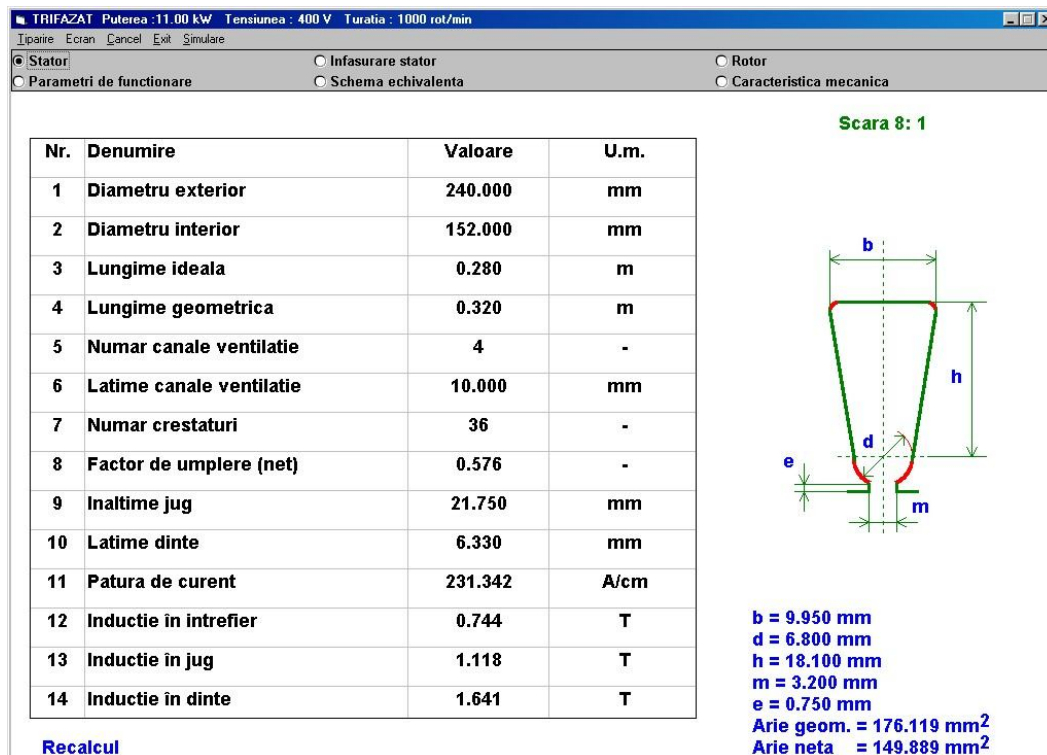


Figura 2.4. Rezultate referitoare la stator

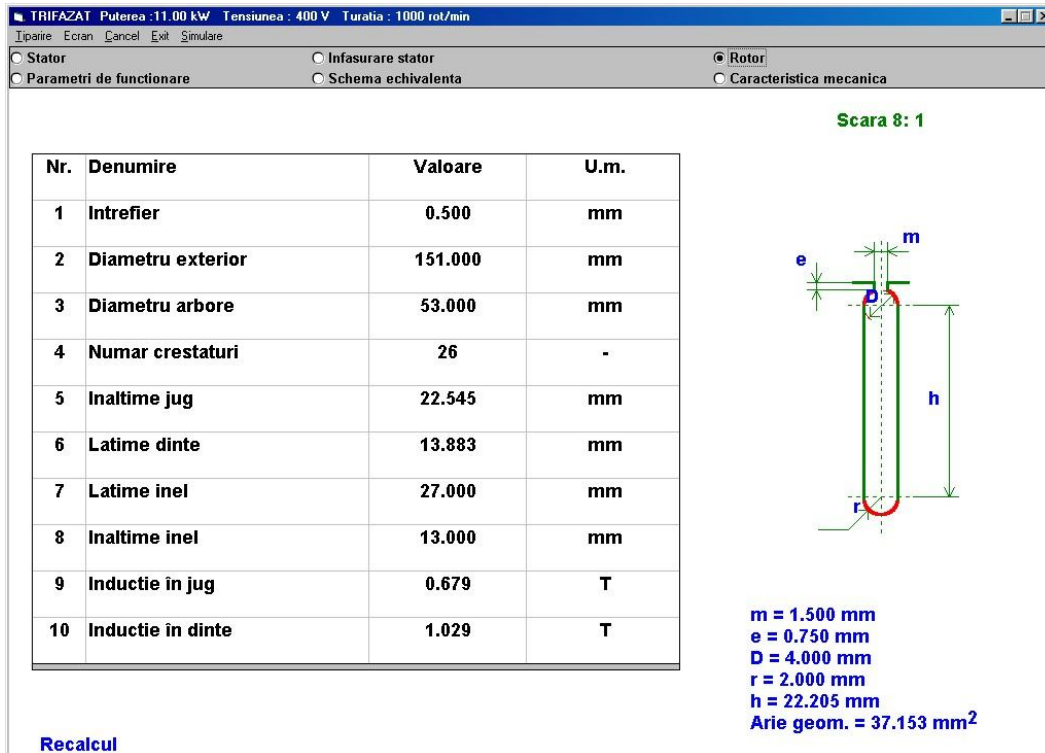


Figura 2.5. Rezultate referitoare la rotor

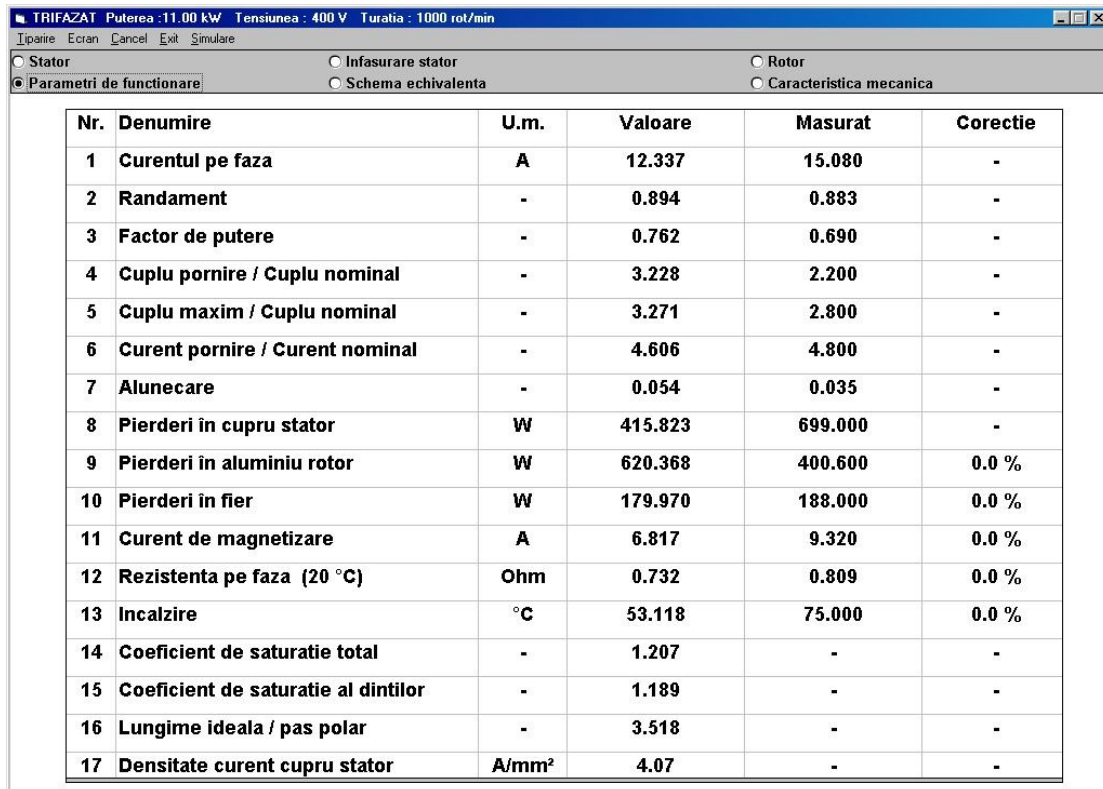


Figura 2.6. Rezultate referitoare la parametri de functionare

Se constata o buna concordanta intre valoarea calculata a pierderilor in fier (179,97 W) si valoarea masurata (188 W).

Activitatea II.3

Realizarea și demonstrarea funcționalității modelului fabricat cu tole de tip M400

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

P2: S.C. Electoprecizia Electrical Motors S.R.L.

1. În conformitate cu planul de realizare a proiectului s-a stabilit să fie executate mai multe motoare din bandă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminați la rece M400 - 65, conform SR EN 10106. În acest scop s-a cumpărat (prin licitație publică), la sfârșitul anului 2012, tablă M400 - 65 pentru toate gabaritele în care sunt motoare IE3: 80, 90, 100, 112, 132, 160. Din această tablă s-au executat în anul 2013 toate cicutile magnetice ale motoarelor IE3, care au necesitat următoarele activități:

- a. Ascuțirea și montarea pe presă a ștanțelor pentru tole, pentru fiecare gabarit și turație,
- b. Ștanțarea efectivă a tolelor stator și rotor,
- c. realizarea statoarelor impachetate din tolele stator
- d. Turnarea coliviilor din tolele rotor.
- e. Realizarea arborilor și a rotoarelor.

2. Pentru execuția statoarelor bobinate s-a mai cumpărat (tot prin licitație publică) 8 tone de conductor de bobinaj și 8,4 tone bare de oțel pentru execuția arborilor. Înainte de organizarea licitației, execuția acestor subansamble s-a efectuat din materialele existente în fabrică.

3. Execuția statoarelor bobinate s-a făcut, de regulă, prin bobinare manuală și a necesitat execuția de scule ajutătoare (șabloane de bobinaj).

4. Alături de elementele menționate, au mai fost executate carcase și scuturi necesare asamblării motoarelor.

5. S-au realizat următoarele motoare IE3:

Nr.crt. Tip motor	Puterea nominală [kW]	Turația nominală [rot/min]	Randamentul IE3[%], conf. IEC 60034 - 30	Randamentul Valoarea minimă admisă conform IEC 60034 - 1, punctul 11.1 Toleranțe
1. MAL 80	0.75	1500	82.5	79.9
2. MAL80	0.75	3000	80.7	77.8
3. MAL80	1.1	3000	82.7	80.1
4. MAL90S	1.1	1500	84.1	81.7
5. MAL 90L	1.5	1500	85.3	83.1
6. MAL 90S	1.5	3000	84.2	81.8
7. MAL 90L	2.2	3000	85.9	83.7
8. MAL90S	0.75	1000	78.9	75.7
9. MAL 90L	1.1	1000	81	78.15
10. MAL100	2.2	1500	86.7	84.7

11. MAL100	3	1500	87.7	85.8
12. MAL 100	3	3000	87.1	85.2
13. MAL100	1.5	1000	82.5	79.8
14. MAL112	4	1500	88.6	86.9
15. MAL112	4	3000	88.1	86.3
16. MAL112	2.2	1000	84.3	81.1
17. MAL132S	5.5	1500	89.6	88.1
18.MAL132M	7.5	1500	90.4	88.9
19. MAL132S	5.5	3000	89.2	87.6
20. MAL132S	7.5	3000	90.1	88.6
21. MAL132S	3	1000	85.6	83.4
22.MAL132M	4	1000	86.8	84.8
23.MAL132M	5.5	1000	88	86.2
24.MAL160M	11	1500	91.4	90.1
25. MAL160L	15	1500	92.1	90.9
26.MAL160M	11	3000	91.2	89.9
27. MAL160L	15	3000	91.9	90.7
28. MAL160L	18.5	3000	92.4	91.3
29.MAL160M	7.5	1000	89.1	87.4
30. MAL160L	11	1000	90.3	88.8

S-a realizat un număr suficient de motoare pentru a asigura validarea experimentală a rezultatelor cercetărilor și aplicabilitatea acestora la producătorul de motoare (P2).

6. După execuție, motoarele au fost testate în laboratorul de încercări motoare. La unele din motoare au trebuit executate mai multe variante până când caracteristicile de funcționare s-au încadrat în categoria de randament IE3. În tabelul următor sunt prezentate rezultatele încercărilor. S-au folosit următoarele notații:

P_n - Puterea nominală;

n - turația nominală;

Nr.bl. - număr de buletin de incercare;

η_{IE3} - randamentul IE3 impus.

În paranteză apare valoarea minimă admisă de normele internaționale;

$\eta_{obținut}$ - randamentul obținut în urma încercării;

$\cos\varphi$ - factorul de putere;

M_p / M_n - Momentul de pornire/Momentul nominal;

I_p / I_n - Curentul de pornire/Curentul nominal;

I_n - curentul nominal;

s - Alunecarea;

$\Delta\Theta$ - supratemperatura.

Gab.	P_n [kW]	n [rot/ min]	Nr.bl.	η_{IE3} (η_{sol})	$\eta_{obținut}$	$\cos\varphi$	M_p / M_n	I_p / I_n	I_n	$s\%$	$\Delta\Theta$ [°C]	Concl
80	0.75	1500	42 - 2013	82.5 (79.9)	80.2	0.642	4.44	6	2.1	5.13	36.5	Este IE3

80	0.75	3000	55 - 2013	80.7 (77.8)	80.9	0.716	5	8.18	1.87	3.83	29	Este IE3
80	1.1	3000	56 - 2013	82.7 (80.1)	82.34	0.82	4.36	6.89	2.35	6.07	44.6	Este IE3
90	1.1	1500	35 - 2013	84.1 (81.7)	83.9	0.643	4.64	8.5	2.94	3.05	34	Este IE3
90	1.5	1500	36 - 2013	85.3 (83.1)	83.9	0.717	3.65	6.81	3.6	4.45	44	Este IE3
90	1.5	3000	45 - 2013	84.2 (81.8)	86.25	0.74	5.7	10.5	3.39	2.59	29	Este IE3
90	2.2	3000	48 - 2013	85.9 (83.7)	86.76	0.806	4.91	9.2	4.54	3.35	41.5	Este IE3
90	0.75	1000	205 - 2013	78.9 (75.7)	77.32	0.654	3.13	5.05	2.14	4.95	32	Este IE3
90	1.1	1000	235 - 2013	81 (78.15)	79.03	0.755	2.32	4.69	2.73	6.95	56	Este IE3
100	2.2	1500	34 - 2013	86.7 (84.7)	85.1	0.647	4.15	8.28	5.77	2.78	45	Este IE3
100	3	1500	31 - 2013	87.7 (85.8)	85.9	0.765	3.35	7.28	6.62	4.55	63	Este IE3
100	3	3000	57 - 2013	87.1 (85.2)	86.78	0.811	5.1	11	6.15	3.15	45	Este IE3
100	1.5	1000	298 - 2013	82.5 (79.8)	80.86	0.711	3	5.23	3.86	5.23	52	Este IE3
112	4	1500	29 - 2013	88.6 (86.9)	87.2	0.768	3.52	8.69	8.61	3.55	57.4	Este IE3
112	4	3000	50 - 2013	88.1 (86.3)	87.91	0.812	5.48	9.26	8.1	3.1	47	Este IE3
112	2.2	1000	71 - 2013	84.3 (81.1)	82.71	0.793	2.36	5.97	4.85	4.9	57	Este IE3
132	5.5	1500	28 - 2013	89.6 (88.1)	88.45	0.77	3.22	9.44	11.65	2.3	51.3	Este IE3
132	7.5	1500	103 - 2013	90.4 (88.9)	90	0.7	4.44	9.25	17.5	2.75	64	Este IE3
132	5.5	3000	76 - 2013	89.2 (87.6)	88	0.867	2.32	9.74	10.4	3.08	56	Eate IE3
132	7.5	3000	153 - 2013	90.1 (88.6)	89.4	0.771	6.2	12.74	15.7	1.855	44	Este IE3
132	3	1000	63 - 2013	85.6 (83.4)	85.71	0.722	2.1	6.81	7	3.6	41	Este IE3
132	4	1000	67 - 2013	86.8 (84.8)	86.82	0.692	2.63	6.94	9.6	3.4	57.8	Este IE3
132	5.5	1000	270 - 2013	88 (86.2)	87.91	0.754	2.87	7.46	11.97	3.5	58	Este IE3
160	11	1500	207 -	91.4	90.5	0.69	3.27	8.27	25.8	2.37	55	Este

			2013	(90.1)								IE3
160	15	1500	267 - 2013	92.1 (90.9)	91.27	0.82	2.8	7.24	29	2.56	48.5	Este IE3
160	11	3000	147 - 2013	91.2 (89.9)	90.96	0.87	2.9	9.8	20.15	1.52	31	Este IE3
160	15	3000	133 - 2013	91.9 (90.7)	91.4	0.861	3.2	10.2	27.5	1.97	48	Este IE3
160	18.5	3000	244 - 2013	92.4 (91.3)	91.83	0.911	3.84	9.71	31.9	1.95	61	Este IE3
160	7.5	1000	99 - 2013	89.1 (87.4)	87.55	0.65	2.51	5.22	19.15	3.95	62	Este IE3
160	11	1000	240 - 2013	90.3 (88.8)	88.91	0.69	3.2	7.5	26.1	3.45	74	Este IE3

Numărul de motoare realizate și rezultatele obținute în urma încercărilor validează metotologia de calcul utilizată și rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul proiectului.

8. Pentru a verifica modul cum o ștanțare cu mai multe creștături (contur de tăiere mai mare) influențează pierderile în fier s-a mai efectuat următoarea experiență: s-au construit două motoare (MAAL71 0.25kW - 1000rot/min) cu număr de creștături diferite în rotor (33, respectiv 26). Același stator bobinat a fost montat cu două rotoare cu număr diferit de creștături și s-au făcut încercări pe cele 2 motoare. În continuare sunt prezentate rezultatele obținute:

Nr. buletin de încercare	296 - 2013	297 - 2013
Tipul rotorului folosit	Rotor cu $Z_2=26$ de creștături	Rotor cu $Z_2=33$ de creștături
Randamentul[%]	65.96	67.8
$\cos\phi$ - factorul de putere	0.668	0.67
M_p/M_n - Momentul de pornire/Momentul nominal	2.27	2.44
I_p/I_n - Curentul de pornire/Curentul nominal	3.32	3.56
s - Alunecarea [%]	9.85	8.55
$\Delta\theta$ - supratemperatura[°C]	35	34
P_{cu} - pierderi în bobinajul stator[W]	79	85
P_{fe} - pierderi în fier[W]	9	9
P_{al} - pierderi în colivie[W]	28	24
P_{mv} - Pierderi mecanice+ventilație[W]	5	5
I_n - curentul nominal [A]	0.82	0.794

Concluzie: S-a constatat că pierderile în fier nu au fost afectate de numărul de creștături rotorice diferit.

Activitatea II.4

Diseminarea rezultatelor – protejarea drepturilor de proprietate intelectuală

Au fost integral realizate toate activitățile și obiectivele prevăzute în cadrul fazei II (2013) a Contractului PCCA – CTR. 32/2012, *Mașini electrice cu eficiență sporită, prin utilizarea unor soluții tehnice avansate, bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice ale tolelor* (acronim: MEF-MAG).

* Raportul detaliat atașat prezentei sinteze conține circa 250 pagini.

* A fost completată pagina Web a proiectului:

<http://mefmag.elth.pub.ro/index.html>

* Au fost susținute următoarele comunicări și au fost publicate (sau sunt în curs de publicare) următoarele articole:

1. **Gheorghe Păltânea, Veronica Păltânea, Horia Gavrilă**: Energy losses prediction in non-oriented silicon iron sheets. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **58**, pp.53-62 (2013); ISSN 0035-4066

2. **Horia Gavrilă, Doina Gavrilă**: Exchange Coupled Composite Media for Magnetic Recording – Issues and Challenges. 3rd International Conference on Key Engineering Materials (ICKEM 2013), 8-9 March 2013, Kota Kinabalu, Malaezia (E 1005)

- publicată în: *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications, Switzerland, vol.701, pp.154-162 (2013); doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.701.154

3. **Veronica Păltânea, Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă, Eros Pătroi, Ioan PETER**: The influence of the sheet metal cutting technologies on the energy losses in non-oriented silicon iron alloys (A21-P-TU-PS1-2). European Congress on Advanced Materials and Processes (EUROMAT 2013), 8-13 September 2013, Sevilla, Spain

- acceptată spre publicare în: *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **59** (2014)

4. **Valentin Ioniță, Adelina Bordianu**: Magnetic losses estimation for non sinusoidal current supply. Proc. of 8th International Symposium od Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE 2013), 23-25 May 2013, Bucharest; pp.11-14

Print ISBN 978-1-4673-5975-5; <http://dx.doi.org/10/1109/ATEE.2013.6563375>

5. Mihai Maricaru, Ioan R. Ciric, **Florea Hăntilă, Horia Gavrilă**, George-Marian Vasilescu: A frequency-domain solution for the motion of levitated conductors. The 8th International Symposium od Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE 2013), 23-25 May 2013, Bucharest

Print ISBN 978-1-4673-5975-5; <http://dx.doi.org/10/1109/ATEE.2013.xxxx>

6. Emil Cazacu, Lucian Petrescu, **Valentin Ioniță**, Inrush current investigation for single phase power transformers by means of magnetic material core characteristics. International Symposium on Theoretical Electrical Engineering (ISTET 2013), 24-26 June 2013, Pilsen, Czech Republic. Print ISBN 978-80-261-0246-5, pp.I-37 – I-38

7. Mihai Maricaru, Ioan R. Ciric, **Horia Gavrilă**, George-Marian Vasilescu, **Florea Hăntilă**: Analysis of the motion of conducting sheets in magnetic fields (PA2-14). Proc. of the 19th Conf. on the Computation of Electromagnetic fields, COMPUMAG 2013, 30 June-4 July 2013, Budapest, Hungary

- în curs de publicare în: *IEEE Transactions on Magnetics* **50**, no.2 (2014); ISSN 0018-9464; doi: 10.1109/TMAG.2013.2282772

8. **Veronica Păltânea, Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă**: Prediction of energy losses in soft magnetic alloys based on magnetic objects theory in case of uniform magnetic flux penetration (Q16). 8th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineers for Magnetic, Superconducting, Multifunctional and Nanomaterial (JAPMED'8), 23-26 June 2013, Athens, Greece. Extending Abstract Proceedings (CD-ROM), pp.17-18

9. **Horia Gavrilă**, Marilena Stănculescu, Mihai Maricaru, Marian Vasilescu, **Florea Hănișă**, Paul Andrei: "In situ" evaluation of the ferromagnetic bodies magnetic characteristics (P6). JAPMED'8, 23-26 June 2013, Athens, Greece. Extending Abstract Proceedings (CD-ROM), pp.1-2

10. **Veronica Păltânea, Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă, Eros Pătroi, Ioan PETER**: Efectul tehnologiilor de debitare a tolelor electrotehnice asupra pierderilor de energie în mașinile electrice (TP-2.6). A 8-a Ediție a Conferinței "Zilele Academiei de Științe Tehnice din România", 4-5 octombrie 2013, Brașov, România
- în curs de publicare în volumul Conferinței

11. Mihai Maricaru, Marian Vasilescu, **Florea Hănișă**, Levitation of a conducting sheet considering three degrees of freedom. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **58**, pp.347-356 (2013); ISSN 0035-4066